

## 아인슈타인의 상대성

날짜 : 2004. 11. 9 | 이름 : 정동욱 | 담당교수 : 홍성욱

Gerald Holton, "On the Origins of the Special Theory of Relativity," in Holton, Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein (Cambridge, Mass: Harvard Univ. Press, 1988), pp. 191-236

아인슈타인의 특수상대성 이론의 기원에 대한 설명은 크게 두가지 설명 — 첫째는 선행 과학자들의 작업과의 단절 즉 일종의 돌연변이로 보는 설명(불연속성 강조)과 둘째, 선행 과학자들의 작업의 완성으로 보는 설명(연속성 강조) — 으로 나뉜다.

1905년 아인슈타인이 발표한 세 편의 논문 — ① 빛에 대한 양자이론 ② 브라운 운동 ③ 특수상대성 이론 — 은 완전히 다른 영역의 문제를 다룬 것처럼 보이지만, 자세히 보면 하나의 일반적인 문제 즉, 복사압의 동요에 대한 관심으로부터 나온 것이라는 것을 알 수 있다. 한편, 세 편의 논문은 형식이 완전히 동일하다. ① 비대칭성 또는 미적 부조화에 대한 진술로 시작하여, ② 일반적인 원리를 제안한 후, ③ 그 연역적 귀결로써 비대칭성을 제거한다. ④ 그리고 실험적으로 검증가능한 예측을 간략히 제안하는 것으로 끝을 맺는다.

즉, RT를 비롯한 아인슈타인의 세 논문은 최대한 일반적인 최소한의 근본적인 가설을 가정하여 문제를 풀기 위한 시도라는 것이다. 로렌츠의 로렌츠 변환을 다룬 1904년 논문은 (11개의 임시변통의 가설을 포함한) 특수한 가설들로 가득한 반면, 아인슈타인의 RT 논문은 단 두가지의 가정(광속불변과 상대성 원리)만으로 이전의 이론들을 혁신적으로 종합해냄과 임시변통의 가설들을 몰아낸다. 이러한 점에서, 아인슈타인의 작업은 뉴턴 물리학에 대한 근본적인 혁명으로도 볼 수 있지만, 방법론적으로는 뉴턴의 프린키피아와 매우 유사하다는 점을 알 수 있다. 특히 저자는 둘이 공통적으로 공간과 시간의 본성을 물리학의 핵심문제로 보았다는 점에 관심을 가지고, 아인슈타인의 RT가 시공간의 지위를 신의 감각에서 추상적 관찰자의 감각으로 옮길 수 있었다는 점을 강조하고 있다.

그렇다면, 아인슈타인에게 푸앵카레와 로렌츠의 영향은 어느 정도였을까? 저자는 Whittaker의 '아인슈타인의 1905년 RT에 관한 논문은 푸앵카레와 로렌츠의 상대성 이론의 완성일 뿐'이라는 언급에 대해 자세하게 검토하고 있다. Whittaker는 아인슈타인이 1904년의 푸앵카레의 논문과 1903년 로렌츠의 논문을 발전시켜 1905년의 RT를 완성했다고 말한다. 이에 대해 저자는 몇 가지 확인된 사실을 늘어놓는다.

1. 1900년대 초에 전기역학에서 발생하는 일반적인 문제에 대해 많은 과학자들이 관심을 가졌다는 점은 사실이다. (1903-1905년 동안 ANNALEN DER PHYSIK에만 유사한 주제의 논문 8편 실렸음) 아인슈타인 또한 자신의 작업은 연속적인 과학활동의 일환이었음을 강조했다. 2. Whittaker가 언급한 푸앵카레의 1904년 논문에는 새로운 상대성 원리가 제시되어 있지 않다. 다만 당시의 기본 법칙 또는 원리들 사이에서 발생하는 어려움을 정확히 지적했을 뿐이다. ("속력에 따라 관성이 증가하고, 빛의 속도가 건널 수 없는 한계가 되는 완전히 새로운 역학을 구성해야 할지도 모른다"는 언급이 있긴 하다) 3. 로렌츠의 1903년 논문은 없고 1904년 논문만 있을 뿐이다. 4. (외적 근거에 의해) 아인슈타인은 1904년의 로렌츠의 논문을 읽지 않았다. 5. (내적 근거에 의해) 로렌츠는 맥스웰방정식의 공분산을 얻기 위해 로렌츠 변환식을 '가정'하지만 아인슈타인은 반대로 2개의 가정으로 로렌츠 변환식을 도출해낸다. 또한 각주 어디에도 로렌츠는 등장하지 않고, 변환 공식에 대한 입장이 서로 다르며, 식의 표현 규약의 선택이 서로 다르다. 6. 엄밀히 말해, 로렌츠의 논문은 상대성 이론에 대한 논문이 아니다. 여전히 로렌츠는 논문에서 갈릴레이의 상대성 원리를 가정하고 있다. 7. 로렌츠는 자신의 변환식이 느린 속도에서만 적용되는 것이라 생각했다.

요약해보면, 로렌츠는 (기대와 다른 결과를 보여주는) 실험적 사실의 공격에 맞서 배를 구하기 위해 애쓰는 뛰어난 선장이라면, 아인슈타인의 작업은 배를 옮겨타는 것으로 위기를 극복하는 각성한 자의 창조적인 행위로 볼 수 있다.

여기서 저자는 로렌츠보다는 푸앵카레의 사례를 더 깊이 살펴볼 필요가 있다고 지적한다. 푸앵카레는 당시 물리학의 위기 상황을 누구보다도 정확히 알고 있었고, 절대공간과 절대시간을 부정과 함께 공간상으로 떨어진 두 점에서의 동시성을 부정했으며, 새로운 틀, 특히 (좌표계의) 변환 하에서도 변하지 않는 물리학 법칙의 형식을 모색했다는 것은 분명하다. 그러한 푸앵카레의 노력이 아인슈타인에게 상당한 영향을 주었다는 것도 분명하다. 그럼에도 불구하고, 푸앵카레가 아인슈타인의 RT에 대해서는 곱게 보지 않았다는 점은 이상하다.

466  
기초물리학의 본질

저자는 푸앵카레가 절대주의를 버리긴 했지만, 여전히 상대주의와 절대주의 사이의 어딘가에 계속 남아있었다고 지적한다. 아인슈타인은 자신의 상대성 이론에 대해 기존의 *themata*를 교체하는 핵심가설(*thematic hypotheses*)로 여긴 반면 점진주의자로서의 푸앵카레는 여전히 기존의 *themata*가 길잡이 역할을 수행할 수 있다고 생각했고, 또한 물리학은 그 교체될 수 없는 *themata*에 복종해야 한다고 생각했다. 특히 푸앵카레를 비롯한 19세기 말의 물리학자들은 물리학의 일반법칙들을 훼손시키지 않기 위한 마지막 보루로서 에테르를 부여잡고 있었던 상황이었다. 이러한 상황에서 에테르를 포기해야 한다는 아인슈타인의 주장은 당시 물리학자들을 당황케 했음이 분명하다. 에테르가 사라진 우주에 대해 저자는 코이레의 구절을 인용한다.

“뉴턴의 신은 *intelligentia supra-mundana*가 되었다. 그는 신으로부터 모든 속성을 물려받았으나 ... 신은 제거되었었다”  
우주에서 신이 사라진 상황에 대해, 저자는 ‘객체를 봄으로써 다시 주체 자신을 보게 될 수밖에 없는’ 상황이라 묘사하며, 시대적으로 실존주의와 실증주의의 결합이 이에 조응한다고 덧붙인다.

지금까지 푸앵카레와 로렌츠의 영향에 대해서는 지금까지 살펴본 대로이지만, 젊은 아인슈타인에 미친 다른 사람들의 영향은 어느 정도였을까? 아인슈타인의 1905년 논문의 스타일은 매우 독특했다. 고립된 그가 어떻게 그러한 관점, 질문, 방법을 얻게 되었을까? 저자는 1905년 논문의 첫부분에 등장하는 ‘맥스웰 이론의 비대칭성’ 언급을 단서로 그 기원을 추적해간다. 아인슈타인은 맥스웰을 학교에서 배우지 않았음이 분명하고, 그렇다면 집에서 책으로 공부했었을 텐데, 그렇다면 누구의 책으로 공부했을까? 헬름홀츠, 볼츠만, 헤르츠 등의 저작을 통해 맥스웰 이론을 공부했을 가능성이 있지만, 특히 저자가 주목한 사람은 피플(Foppl)이다.

피플의 물리학의 토대에 대한 깊은 관심, 마흐로부터의 영향과 상대운동에 대한 강조는 아인슈타인과 닮아 있었으며, 특히 맥스웰 이론을 서술하는 부분에서는 아인슈타인 논문의 첫구절이 정확히 표현되어 있었고 ‘자석과 도체가 함께 움직이면 어떻게 되겠는가?’와 같은 사고실험이 소개되어 있었다. 저자는 이에 그치지 않고 아인슈타인이 피플의 저작을 읽었다는 사료를 찾아내면서 아인슈타인에게 미친 피플의 영향을 다음과 같이 요약한다. 첫째, 학교와 다른 방식으로 물리학을 밀고 나가는 데에 용기를 주었고, 둘째, 독특한 방식으로 당대의 물리학자들을 소개해주었다. 또한 피플은 아인슈타인 논문의 ①물리학과 철학의 혼합 ②근본문제가 시공간에 대한 새로운 관점을 통해 성취된다는 점의 승인 ③사고실험에 대한 강조와 실험에 대한 비판심을 잘 이해하게 해준다. 아웃사이드 저자의 책이 아웃사이드 학생에게 많은 영향을 주었을 개연성 있다.

Peter Galison, "Einstein's Clocks: The Place of Time," *Critical Inquiry* 26 (Winter 2000), 355-389

베른(Bern)의 특허국 직원이었다는 점이 아인슈타인에게 미친 영향은 무엇일까? 보통 변두리의 특허국은 깊은 사색의 장소 정도로 생각되곤 한다. 정말 그럴까? 이것이 바로 저자의 출발지점이다.

아인슈타인의 상대성 이론은 시계, 자, 물체에 대한 가정에서 출발한다. 이는 당시 물리학의 일반적인 가정의 순서와 정반대이다. 1905년 논문의 목적은 자신에게는 하나로 보이는 두가지 현상(고정된 자석에 회로가 다가가면 전류가 흐르는 현상과 고정된 회로에 자석이 다가가면 회로에 전류가 흐르는 현상)에 대한 맥스웰 이론의 비대칭적인 설명을 대칭적인 설명으로 교체하기 위함이었다. 아인슈타인은 이를 해결하기 위해 — 힘이 없는 상황에서 시계와 자가 어떻게 행동할까에 대한 — 운동학(kinematics)을 도입한다.

동시적인 사건이란 무엇일까? 한 점에서의 동시성은 이해되지만, 원거리 동시성은 무슨 뜻일까? 여러 위치의 시계를 동기화하려면, 한 시계를 기준으로 빛의 속도에 따라 나머지 시계의 시간조절하면 된다. 그러나 기준시계를 바꾼다면 기존의 동기화는 무너진다. 여기서 기준시계는 존재하지 않는다. 아인슈타인은 사고실험을 통해 시간과 공간의 절대성을 부정하게 된다.

다시 아인슈타인의 기차로 돌아오자. 결국 아인슈타인은 어려서의 수수께끼를 커서까지도 계속 간직하고 있었던 것이다. 그리고 이러한 시간과 공간에 대한 수수께끼는 너무나 기본적인 것이어서, 당시 물리학 집단은 이를 의식하지 못했다. 그러나 그것이 정말 생각의 문턱 아래에 있었을까?

북유럽의 기차역 플랫폼의 시계들을 잘 보면, 초침까지 정확히 일치한다는 점을 알 수 있다. 19세기 중반까지도 도시마다 시간이 조금씩 차이가 났다. 그러나 기차가 등장하고부터, 군대지휘와 여행자에게 있어 지역별 시계의 동기화가 필요해졌고, 경도의 정확한 측정을 위해서도 시계의 동기화는 필수적이었다. 당시 몰트케(Moltke)는 시계 동기화의 필요성을 역설했다. 처음에는 수동적인 방법으로 지역의 시계들을 동기화했지만, 1861년에 스위스의 Hipp's company에서 전신과 전기장치를 이용해 자동적인 방식으로 제네바에 전기시계망을 구축했고, 1890년에는 베른에도 시계 망이 형성되었다. 1890년부터 1905년 사이에 시계 동기화에 대한 특허 신청은 넘쳐났고, 1902년 베른의 특허국에 들어가 전가-시계 창구에 있던 아인슈타인은 당시 기술의 최첨단을 그 현장에서 목격한 것이다.

von Moltke는 하나의 세계시간에 열광했지만, Hipp의 최고기술자 파바게르(Favager)는 그 기술적 어려움을 인식하고 그에 만족

하지 않고 더 정확하고 자동화된 '하나의' 시계를 통해서만 무정부성을 극복하고 세계의 안정을 꾀할 수 있다고 생각했다. 파바게르의 "수동적인 시스템은 우리가 피해야 할 무정부주의의 직접적 원인이다"라는 언급에서 드러나는 무정부성이란 틀림없이 부분적으로는 Jura 시계공들 사이에 팽배했던 무정부주의를 지칭하는 것이다. 오직 동시적인 전기의 분배만이 시간 통일 영역을 무한히 확대할 수 있는 파바게르에게, 그의 원거리 동시성을 확보하려는 야심은 정치적, 실용적인 의미를 가지는 것이었다.

다시 아인슈타인으로 돌아오자. 1895년 16세의 아인슈타인은 '빛을 따라잡는다면 어떤 현상이 일어날까'라는 사고 실험을 한다. 그렇다면 파도를 따라가는 서퍼처럼, 전자기파의 정지된 파형을 볼 수 있어야 하지 않을까 하는 생각을 하는데, 그러나 이는 관찰과 전혀 맞지 않다. 또한 4년 뒤, 그는 에테르에 의미를 부여하지 않더라도 전기역학이 기술된다는 것을 발견한다. 즉, 아인슈타인은 특허국에서 일을 하기 전에 이미 특수상대성 이론의 일부분을 이미 수행했던 것이다. 그러나 그때까지 시간의 문제는 다루지 못한 것으로 보인다.

이제 시간의 문제를 살펴보자. 당시 물리학자들은 고정된 에테르의 관념을 강하게 유지했고, 아무도 지역적 시간(local times)과 절대시간에 동등한 비중을 두지 않았다. 즉, 푸앵카레, 로렌츠 등은 단지 프레임에 따른 (실험상에서의) 시간의 변화에 대해 인공적이고 계산적으로 용이한 개념으로만 다루었고, 그것을 위한 특수한 가정을 필요로 했다.

1902년 특허국에 들어간 아인슈타인은 "일단 특허신청자의 말은 모두 믿지 말라"는 지침을 받았고, 저자는 이러한 경향이 그의 에테르에 대한 생각에 영향을 미친 것으로 보았다. 한편, 특허국의 그는 당시 최첨단을 달리는 전가시계 기술 — 동시성을 규약화(conventionalized simultaneity)하는 새 기술 — 을 목격하면서 물리학의 규약주의적인 토대를 형성했을 것이며, 그것이 바로 그의 특수상대성 이론의 마지막 걸음(final, crowning step)이었다고 저자는 주장한다.

당시 광속의 한계를 이용한 엄격한 동기화를 통해 시간을 정의하려는 시도를 한 사람이 한 명 더 있다. 바로 푸앵카레. 그는 사고 실험이 아닌 실제 경도 측정과정에서 (이론적으로 그 오차를 없앨 수 있는 계산법은 있지만) 필연적으로 오차가 발생한다는 것을 발견했다. 즉 동시성이라는 것이 언제나 규약적이라는 것을 승인한 것이다. 그러나 그는 뉴턴적 기반을 포기하진 않았고, 결국 빛-신호 동시성의 문제는 그에게 물리학을 어쩔 수 없이 복잡하게 이끌었다. 반면, 아인슈타인에게 그 문제는 물리학을 더욱 간단하게 만드는 계기가 되었다.

결론적으로, 아인슈타인의 특허국 자리는 사색의 공간이 아니라 최선의 기술을 목격하는 창구였다. 또한, 아인슈타인은 시간의 무정부성을 극복하기 위한 시계동기화를 완성시켰지만, 기준시계를 제거하고 기술자들 사이의 규약(convention)을 물리학의 기본 원리로 삼음으로써, 다시 시간의 무정부성을 복원시키고 말았다.

Andrew Warwick, "Cambridge Mathematics and Cavendish Physics: Cunningham Campbell and Einstein's Relativity. Part 1: The uses of theory," HSFS 23 (1992): 625-656

아인슈타인의 상대성이론의 수용은 어떤 방식으로 이루어졌을까? 이 글은 다른 스타일의 물리학 연구 집단 사이에서 수용이 어떻게 이루어졌는지를 1905년 논문에 대한 신속한 반응들을 통해 비교하기 위한 작업의 일환이다.

저자는 이론 생산자 중심의 연구가 아닌 이론 수용자 중심의 연구가 필요하다고 역설하며, 아인슈타인의 연구가 그 자체로 혁신적이었기 때문에 신속한 반응을 이끌어낸 것이 아니며, 스타일이 다른 연구 집단마다 아인슈타인의 연구를 자신의 작업과 연관된다고 여기며 그에 다른 방식으로 '의미를 부여'했다고 주장한다. 저자는 그 사례 연구로서, 캠브리지의 이론 물리학자들을 다루고 있는데, 특히 커닝햄(Cunningham)이 아인슈타인의 상대성 이론을 '이해한' 방식을 세밀히 파헤치고 있다.

저자는 이론의 혁신성이 반응을 이끌어낸다는 골드버그의 주장<sup>1)</sup>을 비판하기 위해 당시 캠브리지의 전반적인 분위기를 보여주며, 아인슈타인의 연구의 중요성이 캠브리지의 어떤 독자에게도 자명하지 않았음을 제기한다. 한편, 이론의 수용자들은 수동적인 반응자라기보다는 오히려 (독일의 한 물리학자가 자신과 비슷한 연구를 하고 있다고 생각한) 능동적인 해석가에 가깝다는 일반적인 견해를 표명한다. 따라서 이론 수용에 대한 연구는 수용자 중심으로의 중심이동이 필요하며, 이러한 중심이동은 첫째, 자신 또한 아인슈타인의 작업에 유일한 의미 부여를 하지 않았으며 캠브리지의 주석가들 또한 아인슈타인을 잘못 읽었다거나 잘못 이해했다고 말하지 않았다는 점과, 둘째, 의미는 수용자(이론생산자 포함)의 맥락에 의존하며 사전에 동질적이라 가정된 집단도 해체 가능하다는 점을 함축하고 있다고 저자는 말하고 있다.

저자는 이론 물리학자들에 대한 문화적(cultural), 지역적(local), 미시적(micro) 분석을 위한 틀로 이론적 기술(theoretical technology)을 제안하며, 이론 물리학자들에게도 이상적인 이론 자체가 아닌 실제 문제풀이의 관습(practice)이 존재한다고 말한

1) 골드버그는 아인슈타인의 혁신성을 세가지 — 첫째, 두 가정만으로부터 도출된 이론이라는 점, 둘째, 동역학(dynamics)이라기보다는 운동학(kinematics)이라는 점, 셋째, 에테르의 존재에 의존하지 않는다는 점 — 로 파악했으며, 이러한 혁신성이 많은 반응을 이끌어냈다고 주장했다.

2) 첫째, 아인슈타인의 이론에 반응한 사람은 극히 적었으며, 둘째, 반응한 사람들마다 모두 다르게 반응했으며, 셋째, 반응한 한 줌의 사람들조차 골드버그의 세가지 의미를 모두 인식한 사람은 없었다.

다. 이러한 관습은 각 집단마다 달랐으며, 특히 캠브리지의 트라이포스 시험(Tripes examination) 전통은 캠브리지의 이론 물리학자들에게 독특하고도 통일적인 이론적 기술을 형성시켰다고 주장한다. 커닝햄은 이러한 전통 하에서 (수학과 물리에서) 훌륭하게 훈련받은 물리학자 중 한 사람이었다.

커닝햄은 라모르(Larmor)의 책을 읽고 전자로 이루어진 물질이 속도에 따라 일정한 비율로 수축한다는 것을 발견하고, ETM을 구축하기 시작한다. 그는 상대성 이론을 맥스웰 방정식의 형태를 보존시키는 로렌츠 변환을 강력하게 지지해주는 수학적 도구 정도로 생각했다. 그는 상대성 이론의 두 번째 가정인 광속불변의 원리를 가정이 아닌 결과로 해석하여 '상대성 원리는 상대적으로 다른 운동을 하고 있는 관찰자에게 빛의 속도가 왜 같아 보이는지를 설명한다고 생각했으며 빛의 속도가 일정하게 보여야 하는 이유는 맥스웰 방정식이 모든 기준틀에서 동일하게 적용되기 위해서였다. 커닝햄에게 아인슈타인의 흥미로웠던 점은 로렌츠변환을 도출해내는 수학적 기술(technic)과 ETM의 귀결과 같은 설명의 수학적 대칭성이었다. 그리고 커닝햄은 (자신이 이해한) 상대성 이론을 더욱 일반화하여 New Theorem of Relativity(상대론적 변환의 일반적 집단을 얻어내는 작업)을 기하학적으로 구성하는 데에 성공한다.

그러나 재밌는 사실은 커닝햄의 상대성 이론에는 에테르가 항상 존재했다. 더 재밌는 것은 그의 에테르는 관찰가능한 현상이 아니며, 객관적 실재도 아닌 설명(이해)적 기능을 가진 정신적 상(mental image)으로서의 존재론적 지위를 지녔다. 즉, 수학적 표현에 맞게 재정의된 에테르는 이론 내에서 직접적인 기능을 하지 않는 매우 유연한 개념이었으며, 다만 전자기 현상이 있기 위해 매질이 존재해야 한다는 점의 표현에 불과했다. 기술적(수학적) 관습이 에테르를 엄격한 존재양태보다는 우위를 차지하고 있는 상황이라고 할 수 있다.

결론적으로, 아인슈타인의 상대성 이론은 커닝햄에게 ETM을 발전시키는 도구로 이해되었고 그렇게 성공적으로 활용되었다.

John Earman and Clark Glymour, "Relativity and Eclipses: The British Eclipse Expeditions of 1919 and Their Predecessors," HSPS 11 (1980), 49-85

1916년 아인슈타인은 일반 상대성 이론을 발표하면서, 태양의 중력으로 인한 별빛의 굴절을 예측했다. 그리고 1919년 일식 때, 영국의 에딩턴(Eddington)과 다이슨(Dyson)은 그 현상을 관측해낸다. 당시 전쟁으로 인해 영국과 독일은 서로 적대적인 상황이었기에, 일식 관측의 사례는 애국심이나 편견이 아닌 이성에 의한 과학 수용의 대표적인 사례로 여겨지곤 한다. 그런데 정말 그럴까? 저자는 이러한 의문으로 논의를 시작하여, 첫째, 에딩턴이 이미 상대성 이론에 매혹되어 있었으며, 둘째, 반전론자로서 영국과 독일의 친교회복을 원했기에 가능했던 일이라고 결론을 맺는다.

실제로 당시 영국에서는 특수 상대성 이론조차도 잘 받아들여지지 않고 오히려 적대시되었으며, 일반상대성은 아예 반향을 일으키지도 못했던 상황이었다. 여기에 전쟁까지 겹쳐진 엄혹한 상황에서도 에딩턴과 다이슨은 독일학자의 예측을 검증하기 위해 갖은 애를 썼다는 점은 매우 놀라운 일이다.

아인슈타인의 별빛 굴절각 예측은 두가지 — 등가원리만으로 도출되는 예측( $0.87''$ )과 일반상대성으로부터 도출되는 예측( $1.74''$ ) — 로 나뉘는데, 에딩턴은 전자를 뉴턴이론의 예측이라 여겼고, 후자를 진정 상대성이론의 예측이라 여겼다. 이 예측을 관측하기 위해서는 사진 2장이 필요했다. 또한 지구의 자전과 공전 그리고 각종 기기의 필연적인 오차로 인해 작은 정도의 차이는 어쩔 수 없었다. 물론 이의 보정을 위해서는 적어도 6개 이상의 별을 관측해야 했고, 그 평균을 구하는 방법을 채택할 수밖에 없다.

1919년 에딩턴의 관측 이전에도 적어도 4번의 시도가 있었다. 그 대표적인 인물이 프라운드리히(Freundlich)였고, 그는 아인슈타인과 지속적인 논의를 해가며 열정적으로 관측을 시도했지만, 날씨와 전쟁 등의 원인으로 3번은 아예 관측조차 하지 못했고, 힘들게 관측해낸 1918년의 관측의 경우엔 몇가지 이유에 의해 발표되지 않았다. 결국 그 자료는 캠벨(Campbell)과 커티스(Curtis) 사이에서 오갔고, 캠벨로부터 결과를 전해들은 프라운드리히(Freundlich)는 아인슈타인에게 자료가 아인슈타인의 예측을 설명하지 못한다고 전했다. 그 이후에는 전쟁과 재정 상의 이유로 더 이상 관측을 수행하지 못했다.

영국에서 처음으로 일식관측을 제안하고 아인슈타인 이론을 입증했다고 발표한 사람은 다이슨이다. 상대론자가 아닌 다이슨은 에딩턴과 많은 부분을 공유했고, 에딩턴의 일반 상대성 이론에 대한 열정적인 지지를 알고 관측을 제안한 것으로 보여진다. 그러나 이 뿐만은 아니다. 1917년 정부의 강제동원령에 에딩턴은 양심적 거부(conscientious objection)를 했고, 다이슨의 도움으로 '힘든 과학 연구를 수행할 것'을 조건으로 병역을 연기한다. 여기서의 구체적인 조건이 바로 '1919년까지 전쟁이 끝나면 일식관측을 하는 것'이었다.

이렇게 이루어진 관측은 세 종의 렌즈로 이루어졌고 그 결과는 다음과 같다.

렌즈 종류	평균 굴절각(")	1초에서의 표준편차(")
Sobral 4-inch	1.98	0.178
Sobral Astrographical	0.86	0.48
Principe Astrographical	1.61	0.444

가장 눈에 띄는 것은 Sobral 4-inch의 관측결과이다. 그러나 Sobral 4-inch의 관측 평균은 값이 크고, 표준편차가 너무 작다. 아인슈타인의 예측이 맞다고 할 때, 이러한 분포가 나올 확률은 10분의 1밖에 안되며, 이는 뉴턴예측이 맞다고 할 때, Principe의 분포가 나올 확률보다도 작다. 결국, 이 실험으로 결론낼 수 있는 것은 0.87" 이하에서 2.0" 이상 사이의 값으로 중력에 의한 빛의 굴절 효과가 있다는 것뿐이다. 그러나 1919년 11월 6일 다이슨은 이 관측결과가 아인슈타인의 일반상대성 이론을 입증한다고 선포했다.

다이슨은 발표과정에서 Sobral 4-inch의 결과만을 발표했고, 에딩턴은 Principe의 결과에도 기대를 걸었다. 그러나 Sobral Astrographical의 관측값 누락에 대한 캠벨의 제기가 있었고, 에딩턴은 시스템적인 오류라 반박했고, Principe이 여전히 더 낮다고 주장했다. 또한 에딩턴과 다이슨은 태양에 의한 빛의 굴절에 대해 굴절이 없거나, 뉴턴예측이 맞거나, 아인슈타인 예측이 맞거나 셋 중 하나(trichotomy)라 강조했는데, 이는 그 외의 경우를 상정할 경우 관측의 입증력이 매우 약화되기 때문이다. 일식 관측의 입증력에 대해 몇가지 제기가 계속 되긴 했지만, 일식관측이 아인슈타인의 이론을 입증했다는 평가는 더욱 강화되어 갔다.

전쟁 중, 그리고 전쟁 이후 독일과 영국의 과학자들은 서로 엄청나게 반목했지만, 에딩턴은 이러한 민족주의적인 분위기에 편승하지 않고 두 국가의 친교 회복을 위해 노력했으며, 에딩턴과 다이슨은 스스로 그들의 일식 관측에 대해서도 친교 회복에 도움이 됐다는 점을 좋게 평가했다.

*(다yson)*  
 > (다yson의) 코드 = 부정적 평가

Bruno Latour, "A Relativistic Account of Einstein's Relativity," Social Studies of Science 18 (1988), 3-44

□

*Latour*

*Latour Newton vs Einstein*

## 아인슈타인의 상대성(Einstein's Relativity)

날짜 : 2004. 11. 16 | 이름 : 정동욱 | 담당교수 : 홍성욱

Bruno Latour, "A Relativistic Account of Einstein's Relativity," *Social Studies of Science* 18 (1988), 3-44

라투어는 이 논문의 연구 영역을 아인슈타인이 준-대중적으로 집필한 '상대성, 특수 및 일반 이론'의 영역본에 한정하고, 그것으로부터 다음의 두 질문 '사회의 개념을 재정식화함으로써, 우리는 어떤 방법으로 아인슈타인의 연구를 명백하게 사회적으로 볼 수 있을까?'와 관련된 질문으로써, '우리는 아인슈타인으로부터 사회를 연구하는 방법을 어떻게 배울 수 있을까?'에 대해 답을 하려 한다. 그럼으로써, 힘든 사회적 설명을 찾기보다 스트롱 프로그램을 발전시킬 — 실험 과학에 한정되지 않는 — 쉽고도 넓은 방법이 있다는 점을 보이려 한다.

이를 위해 일단 텍스트 분석의 도구로서 semiotician의 용어인 shifting-out과 shifting-in을 소개한다. 모든 텍스트에서는 독자에게 현실세계 또는 필자로부터 새로운 행위자, 공간, 시간으로 주의를 돌리는 shifting-out과 그 반대방향으로의 이동인 shifting-in이 계층적, 반복적으로 수행된다. 모든 텍스트들은 — 과학도 포함하여 — 내적 실재성을 확보하기 위해 서로간에 정합적인 내적 참조(internal reference)가 이루어진다.

라투어는 아인슈타인은 특별하게 shifting-out, shifting-in의 'operation'에 집중했음을 말한다. 아인슈타인은 일단 shifting-out된 공간과 시간을 재정적하는 방법 — 간단한 막대와 시계가 공간과 시간을 not represent, but generate하는 도구로 등장시킴 — 을 공들여 설명한 이후, 다시 shifting-in을 통해 각 기준틀에서의 관찰을 수합하여 superposing할 수 있도록 하는 방법을 찾는다. 라투어는 특히 이 과정에서 아인슈타인이 상대주의에 빠지지 않으려 했으며, 그 해결책으로서 제시하는 것이 (변형 없는) 변환이었다고 말한다. (변형 없는) 변환을 통해 각 기준틀의 관찰은 모든 관찰자에게 동등해지고, 상호 호환가능해지며 superposing이 가능해진다.

각 기준틀의 대리인마다 호환불가능한 관찰을 가져오지 않도록 하고자 하는 노력은 수많은 분과와 활동의 보편적인 관심이다. 아인슈타인의 연구 또한 이를 해결하기 위한 일환으로 볼 수 있다. 관찰을 수합하여 superposing하는 곳을 '중심'이라 할 때, 아인슈타인의 '중심'은 모든 것을 다 볼 수 있는 절대자의 위치에 있지 않다. 아인슈타인의 '중심'은 단지 '계산의 중심'일 뿐이며, 그 '계산의 중심'은 모든 관찰을 동등하게 만들고 상호 호환이 가능하게 해주는 (변형 없는) 변환식을 통해 각 정보를 수합하여 superposing할 수 있다.

아인슈타인은 상대성이라는 원리를 통해 절대주의를 부정함으로써 오히려 실재성을 확보할 수 있었으며 그 안에서 의미를 찾을 수 있었다. 그와 마찬가지로 과학사회학의 연구 또한 과학에 대한 절대적인 정의를 부정함으로써 그 진정한 의미와 실재성을 얻기 위한 작업으로 보아야 한다. 아인슈타인의 상대성이든 semiotics이든, 각 원리 하에서 의미와 실재성은 적어도 두 개의 기준틀로부터 온 정보를 제 삼자가 superposing함으로써 얻어진다는 점에서 동일하다. 의미는 두 기준틀 사이를 shifting-out, shifting-in 하는 과정에서 유지되는 무언가이며, story 내에서의 movement 과정에서 계속 유지되는 무언가이다. 아인슈타인에게 추상화(abstraction)은 보다 높은 상위단계로 올라가는 것을 의미하지 않는다. 추상화는 곧 (변형 없는) 변환(transformation, transcription, translation)이며, 가역적인 이동(reversible movement)이며, 순환(circulation)이며, property of network이다. 즉, 의미와 실재성을 얻어내는 데 있어, 외적 참조는 내적 참조에 비해 특별히 우월한 위치를 가지지 않는다.

사회적 맥락(social context)이라는 큰 그림(big picture)에 대한 집착은, 19세기 말, 20세기 초 물리학계의 에테르에 대한 집착과 같으며, 과학에 대한 사회적 설명(social explanation: 사회적 맥락에 기반한 인과적 설명)에 대한 집착은 정말 왜소한 기반으로 모든 것을 설명하려는 것과 같다. 예를 들어 '아인슈타인이 혁명적 사회 분위기로부터 영향을 받아...' 식의 설명은 빈약하며 옳지 않다. 물리학자의 용어를 사회학자의 용어로 번역하려는 시도를 더이상 사회적이라고 부르기 민망하다. 오히려 광속 c 또는 로렌츠 변환 등을 사회를 구성하는 정상적인 일부분으로 만드는 것이 더 좋을 듯 하다.